Anàlisi espacio-temporal de la línia de costa i del foredune del sistema dunar de Sa Canova d'Artà (Mallorca)

Jaume R. ROSSELLÓ, Miquel MIR-GUAL, José Ángel MARTÍN-PRIETO i Guillem X. PONS

SHNB

SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Rosselló, J.R., Mir-Gual, M., Martín-Prieto, J.A. i Pons, G.X. 2017. Anàlisi espacio-temporal de la línia de costa i del foredune del sistema dunar de Sa Canova d'Artà (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 60: 23-49. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

Els sistemes platja-duna, són una de les morfologies sedimentàries més abundants a les Illes Balears. Aquests es troben composats per diferents subsistemes, els quals presenten diferents nivells de dinamisme. Des d'aquest punt de vista, la foredune és el sector més dinàmic de la part emergida del sistema i en la qual la vegetació té un paper clau per al desenvolupament de la resta del sistema. Tots i cada un dels sistemes existents a la comunitat autònoma i a la resta del món disposa d'una condicions/característiques que el fan peculiar i diferent a la resta; a part de les pròpies condicions físiques intrínseques al propi medi, a dia d'avui els sistemes han de fer front a tota una sèrie de pressions d'origen antròpic, destacant especialment l'activitat turística en el cas Balear. El cas d'estudi, és Sa Canova, situada al terme municipal d'Artà (NE de l'illa de Mallorca); aquest sistema tampoc n'és una excepció, al llarg del període d'estudi (1956-2012), ha sofert variacions, tant d'origen natural, com antròpic, les quals han tingut com a conseqüència el sistema dunar actualment existent.
Paraules clau: *sistema dunar, morfologia, foredune, dinamisme, vegetació, erosió, sediment, costa, turisme, urbanització.*

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF THE COAST LINE AND THE FOREDUNE DUNE SYSTEM OF SA CANOVA D'ARTÀ (MALLORCA). The beach-dune systems, are one of the most abundant sedimentary morphologies in the Balearic Islands. These are composed of different subsystems, which present different levels of dynamism. From this point of view, Foredune is the most dynamic sector of the emerging part of the system and in which vegetation plays a key role for the development of the rest of the system. Each and every one of the existing systems in the autonomous community and the rest of the world has conditions / characteristics that make it peculiar and different from the rest; Apart from the intrinsic physical conditions inherent in their own environment, today, systems have to deal with a whole series of pressures of anthropogenic origin, with special emphasis on tourism in the Balearic Islands. The case study is Sa Canova, located in the municipality of Artà (NE of the island of Mallorca); This system is not an exception either, during the period of study (1956-2012), it has undergone variations, both of natural origin and anthropic, which have resulted in the current dune system.
Keywords: *dune system, morphology, foredune, dynamism, vegetation, erosion, sediment, coastline, tourism, urbanization.*

Jaume R. ROSSELLÓ, Miquel MIR-GUAL, José Ángel MARTÍN-PRIETO i Guillem X. PONS, Societat d'Història Natural de les Balears; Departament de Geografia.

Universitat de les Illes Balears (UIB), Grup de recerca BIOGEOMED, carret. Valldemossa km 7,5. Palma: email: guillemx.pons@uib.es

Recepció del manuscrit: 12-juny-17; revisió acceptada: 2-oct-17.

Introducció

Per la seva condició insular, Mallorca, la major de les Illes Balears amb una extensió de 3.626 km^2, es presenta com un espai paradigma a l'hora de parlar sobre àrees costaneres. Des d'un prisma geomorfològic es poden diferencia dos grans tipus de costa; aquelles que presenten característiques erosives (costa rocallosa) i les costes baixes sedimentàries. Segons Balaguer (2007), dels 626 km de línia de costa existents a les Illes Balears, el 81% són costes rocoses, el 9% a costes baixes i arenoses (acumulatives/deposicionals) i el 10% restant presenten modificacions antròpiques.

Les costes sedimentàries es presenten com la tipologia més fràgil i complexa dins l'àmbit litoral. Aquesta fragilitat ve argumentada pel fet de ser un punt de continu contacte entre el món emergit i submergit, i de permanent simbiosi entre agents biòtics i abiòtics (Hernández-Calvento, 2002).

Existeixen nombrosos agents els quals poden fer perillar o inclús impossibilitar l'equilibri òptim per a la formació i desenvolupament d'aquests sistemes (Nordstrom, 2000). Les causes que poden provocar aquesta pèrdua d'equilibri no són només naturals, com s'havia estat pensant en el passat. De fet alguns estudis han comprovat empíricament que les costes sedimentàries s'adapten constantment als canvis del nivell del mar o bé als efectes negatius derivats de temporals (Brunel i Sabatier, 2009; Aagaard i Sorensen, 2012). Dins aquest context, l'increment i la diversificació espacial de la pressió antròpica sobre la franja costanera ha estat un dels principals agents alteradors de les condicions naturals d'aquests ambients, en el cas de Mallorca amb notable incidència sobre les costes baixes formades per sistemes platja-duna (i.e. urbanització descontrolada, increment d'activitats associades a la costa, diversificació d'activitats, polítiques de gestió inadequades, etc.).

En aquest sentit Mallorca no es queda al marge de les alteracions antròpiques. L'illa pateix una gran transformació a partir de la segona meitat del segle XX. A partir d'aquest moment es desenvolupa una infraestructura hotelera i de serveis de magnituds considerables, especialment en les àrees de costes baixes i arenoses, ja que per les seves condicions intrínseques (sol i platja d'arena) són els indrets més adients per al desenvolupament de dita activitat. Aquesta construcció/expansió constant durant les darreres dècades ha tengut repercussions sobre els sistemes dunars existents (Roig-Munar *et al.,* 2005), no tant sols en la part emergida, sinó també en la submergida del sistema.

Tal i com postulen autors com Mir-Gual *et al.* (2014), existeix una correlació temporal entre l'arribada del turisme de masses (cap als anys 60 del segle passat, segons Rullan, 1999) i el retrocés generalitzat dels sistemes platja-duna. Per tant, tot i els beneficis que aporti el sector turístic al còmput de l'economia Balear, una mala gestió dels espais litorals aprofitats per dita activitat, provoca tot una sèrie d' impactes negatius molt significatius sobre el medi (Roig-Munar *et al.,* 2009; McLaughlin *et al.,* 2002).

Si fins ara s'ha parlat dels efectes que tenen sobre els sistemes platja-duna les activitats antròpiques, especialment les associades al turisme de sol i platja en el cas de les Balears, dels antecedents teòrics existents i dels agents que intervenen o influeixen en aquests ambients, la Figura 1 ens reflecteix la zonificació teòrica que haurien de tenir els sistemes platja-duna a les Illes Balears en funció de criteris geomorfològics i prenent en consideració les peculiaritats físiques i genètiques d'aquests ambients i dels agents i processos que els formen i desenvolupen.

Partint de l'esquema teòric que, en base geomorfològica, formen els sistemes platja-duna a les Illes Balears, postulat inicialment per Servera (1997) i modificat per Mir-Gual (2014), tres en són els grans subsistemes que hi coexisteixen: la platja submergida, la platja subaèria i el sistema dunar o camp de dunes.

Caracterització de la zona d'estudi

L'àmbit d'estudi, sa Canova d'Artà està situada a la badia d'Alcúdia. Dintre d'aquesta actualment es localitza un extens sistema dunar que abraça des del port d'Alcúdia, fins a Sa Canova, la part més meridional. L'evolució morfològica i geològica de la zona ha produït que actualment es puguin identificar zones de costa molt diferenciades entre si. És tan diferents que dintre de la pròpia badia es pot establir una divisió del sistemes dunars presents; en primer lloc una meitat septentrional, formada bàsicament pel Comú de Muro, tractat àmpliament per Mir-Gual (2014); i una meitat meridional que aborda tota la zona des del nucli urbà de Ca'n Picafort, fins a la urbanització de s'Estanyol, Colònia de St. Pere. El tall pel qual s'ha realitzat aquesta divisió es sustenta fonamentalment en factors urbanístics. Actualment el sistema meridional en el seu conjunt consta d'una extensió de 18,5 km^2, dels quals 13,7 km^2 estan ocupats per morfologies dunars holocèniques, conformant la major àrea de formació dunar existent a les Balears.

Actualment aquest conjunt de sistemes dunars meridionals, tenen una longitud en termes de línia de costa d'uns 9 km de llargària, dels quals aproximadament 1,5 km es corresponent amb el sistema de Sa Canova. Aquest darrer concretament és localitza a la vessant més sud de la pròpia badia d'Alcúdia, a faldes de les Serres de Llevant; quedant limitat pel torrent de Na Borges a l'oest, per les pròpies Serres de Llevant al seu marge est i finalment per la carreta C-712 (Artà-Alcúdia) cap al seu interior (Fig.1).

Des del punt de vista estructural la badia d'Alcúdia representa una obertura nord-oriental cap al mar de la depressió central de Mallorca. És el punt en el qual les dues estructures plegades que delimiten la depressió es troben més propers. Si s'augmenta l'escala del marca general, es pot identificar que en el marge interior continental que defineix la costa de la badia, s'hi localitzen dues àrees morfoestructurals molt diferenciades. Una primera que forma la meitat septentrional de la depressió, conformada per una àrea de subsidència que ha donat lloc a la formació de l'Albufera de Mallorca. La segona meitat meridional de la depressió central de l'illa, es correspon amb el conjunt de l'àrea d'estudi (Fig. 2) i la forma un retall individualitzat de la plataforma finimiocènica. Aquesta àrea meridional, ha evolucionat tectònicament de forma diferenciada a la primera zona (septentrional).

Aquesta zona meridional queda individualitzada del plegament de les Serres

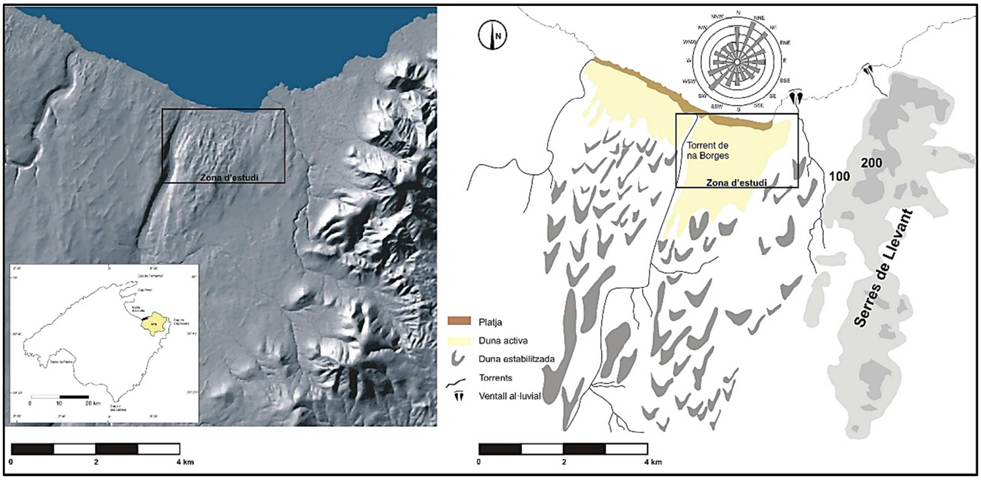


Fig. 1. Model digital del terreny (esquerra) i mapa geomorfològic (dreta) del sistema platja-duna de Sa Canova i representació de les característiques geomorfològiques de l'àrea d'estudi.
Fig. 1. *Digital terrain model (left) and geomorphological map (right) of the Sa Canova beach-dune system and representation of the geomorphological characteristics of the study area.*

es van dipositar la plataforma escullosa del Miocè superior. Des d'aquell moment l'àrea ha estat sotmesa de manera continua a processos de subsidència que actuaren durant tot el Neogen. Per altra banda aquesta plataforma va ser intensament erosionada durant la regressió messiniana; aquest procés originat durant el Pliocè i inicis del Quaternari va tenir com a conseqüència l'encaixament de la xarxa de torrents de la zona, a partir del forts fenòmens erosius i carstificació del materials. El resultat d'aquesta intensa erosió i meteorització del materials és la formació d'un relleu accidentat en forma de barrancs a les Serres de Llevant; fet que es pot identificar en el MDT del mapa de localització del sistema de Sa Canova. Actualment els depòsits de col·luvions fossilitzen el contacte entre la depressió i les estructures plegades de les serres de Mallorca. Aquesta procés de deposició de material també es va veure afavorit durant el Pleistocè a partir de les regressions i de Llevant per una falla de recorregut SW-NE, la qual va davallar el bloc sobre el qual

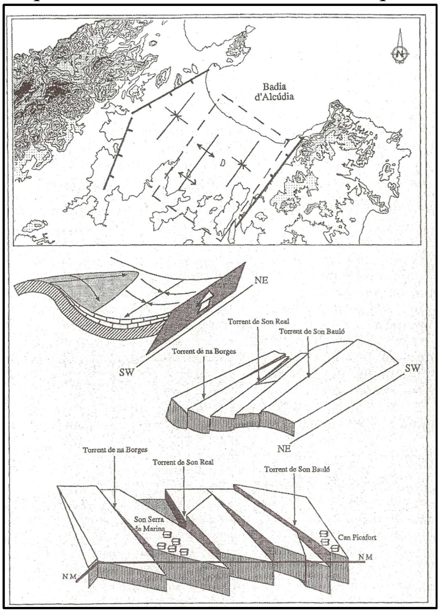


Fig. 2. Marc estructural per al sistema dunar de la badia d'Alcúdia (Servera, 1997).
Fig. 2. *Structural framework for the dune system of the bay of Alcúdia (Servera, 1997).*

transgressions glacioeustàtiques, les quals van recobrir la zona per eolianites.

A l'inici del Pleistocè la zona es va veure afectada per un reajustament tectònic provocat pel rejoveniment de l'anticlinal de Santa Margalida. A partir d'aquesta hipotètics moviments verticals, expliquen l'evolució i el caràcter erosiu de la costa meridional, respecte la meitat septentrional de la costa, la qual té un caràcter més acumulatiu. Aquest rejoveniment va dislocar la plataforma finimiocènica en un seguit de 5 blocs, els quals han quedat basculant en orientació NW. Les fractures originades han estat aprofitades per a l'encaixament de la xarxa de torrents que actualment desemboquen a la costa de l'àrea d'estudi. Fet observable al mapa anterior (Fig. 2) en el cas concret del bloc de Sa Canova, en el seu costat oriental es troba més aixecat per les estructures plegades de les Serres de Llevant, mentre que pel seu costat occidental el més enfonsat i limitat per la fractura per la qual transcorre el torrent de Na Borges.

De manera què, es pot establir una estreta relació entre el recorregut i la desembocadura dels torrents i de les zones de sistema dunar; amb l'articulació de les diferents fractures que individualitzen el total de 5 blocs que conformen la totalitat de la badia d'Alcúdia. En el sectors en el quals els blocs es troben enfonsant per sota del nivell del mar, es mantenen formacions de platja que tenen capacitat per subministrar sediment cap a l'interior i mantenir els sistemes actius; en contrapartida els sectors on els blocs es troben a un nivell per sobre del mar, la costa és del tipus rocallosa.

En quant al clima, a nivell genèric i tenint present el context geogràfic en el qual s'enquadra, la zona d'estudi, aquesta es caracteritza per un clima Mediterrani marítim, també denominat Mediterrani Típic (Csa segons la classificació internacional de Köppen). Aquest es regeix per tenir uns estius secs i càlids, amb temperatures mitjanes per damunt dels 22ºC i hiverns humits, plujosos i amb temperatures suaus, les quals oscil·len entre els 5 i els 9 ºC. També es caracteritza per la irregularitat de les precipitacions, donant-se els màxims de a la tardor i primavera. Pel que es refereix concretament al sistema dunar de Sa Canova, segons Guijarro (1986) exposa què la temperatura mitjana màxima es dóna al mes d'agost amb 29,5ºC i la mitjana mínima al mes de gener amb 6ºC; obtenint un valor de temperatura mitjana anual de 16,5ºC. En quant a les precipitacions, el seu màxim principal es dóna a la tardor, concretament al mes de d'octubre (102 mm) i el secundari a la primavera, al mes març (55 mm). En canvi tots els mesos d'estiu es produeix una període de sequera estival que avarca del mes de maig fins el setembre. Pel que fa al balanç hídric, tot i tenir una precipitació mitjana anual d'entre 580-640 mm, l'evapotranspiració és major amb uns 850 mm. De manera que es tracta d'una àrea marcada per dèficit evident.

Les implicacions directes que tenen els aspectes climàtics esmentats fins al moment sobre el comportament dinàmic del sistema dunar és notable. En primer lloc, què el període sec és el més favorable per al moviment del material, ja què atenent també a la baixada de la humitat relativa, el sediment de diàmetre superior a 60 micres es mou amb més facilitat pel vent. Si prenem en consideració els vents efectius que afecten i condicionen el sistema dunar objecte d'estudi, la direcció aquests és la del SSW, coincidint plenament amb l'orientació principal del camp de dunes consolidades. De manera que per a les morfologies amb aquesta orientació, les components més efectives han de ser N-

NE, tal i com es veu reflectit també en la rosa dels vents de la Fig. 1.

Una vegada abordada la localització, el marc estructural i el marc climàtic tant de la badia d'Alcúdia, com del sistema dunar de Sa Canova; cal fer menció als diferents sectors/espais que formen part del sistema. Seguint un ordre des de la zona marina cap a l'interior; en primer lloc cal fer referència al litoral, dintre d'aquest començar per la batimetria o la platja submergida. Segons Servera (1997), el perfil batimètric de la badia es caracteritza per tenir una plataforma continental d'uns 38 km d'extensió i amb un pendent de tant sol el 0,52%. La isòbata dels -40 m es troba a una distància de 13,5 km de la costa, donant lloc a una àmplia plana submergida amb un pendent mitjà de 0,29% i una forma còncava. El litoral més immediat a la línia de costa, delimitat per la isòbata -5 m a Sa Canova es troba a una distància de 380 m de la pròpia línia i té un pendent del 1,31% de mitjana. Aquesta configuració batimètrica esmentada fins el moment té unes característiques favorables per a l'acumulació de material, i per tant per a la protecció de la platja.

Una vegada analitzat el sector de la platja, cal fer una passa més terra endins i tractar la primera línia de duna o també denominada foredune. Al conjunt del sistema meridional de la badia d'Alcúdia la foredune presenta una morfologia molt desestructurada, en el cas que existeixi inclús. De fet a la unitat de Sa Canova, és l'únic dels quatre sistemes del conjunt meridional, en el qual es pot identificar una primera línia de duna a tot el sistema, ocupant una superfície aproximada de 40.986 m^2, amb alçàries de fins a 4 m a les zones més elevades. Les foredunes constitueixen un cordó al llarg de tota la part superior de la platja amb algunes discontinuïtats espacials; el sector del sistema en el qual es poden identificar de manera més evident aquestes irregularitats, és l'àrea propera a la desembocadura del torrent de Na Borges, en canvi a mesura que s'avança direcció est del sistema són menys evidents. Aquestes variacions de presència de primera línia de duna i absència, va molt lligat a la presència/absència d'activitat antròpica. Aquest lloc no es troba absent d'aquest fet, inclús si va projectar un projecte d'urbanització en els anys 70's, la qual cosa va intensificar inclús més la degradació del sistema per factor antròpic (Lliteras i Vergoñós, 2007), de fet actualment els camins encara són observables en fotografia aèria i són aprofitats per la gent per transitar-hi amb algun vehicle motoritzat; suposant un gran dany a la vegetació associada a aquestes espais i la qual es imprescindible per a la formació dels sistemes a causa de la seva capacitat de retenció i fixació de material. Existeixen tota una sèrie d'espècies vegetals que colonitzen el front dunar entre les quals podem trobar: *Ammophila arenaria, Elymus fractus, Pancratium maritimum, Eryngium maritimum, Euphorbia paralias, Medicago marina, Lotus cytisoides, Calystegia soldanella, Polygonum maritimum*, etc.

Aquests indrets en els quals es produeix una manca de la vegetació típica comentada



Fig. 3. Front dunar cobert d'*Ammophila arenaria.*

Fig. 3. *Dune front covered by* Ammophila arenaria.

anteriorment, acaba afavorint l'aparició de formacions de shadow tongues i shadow rifges. Aquesta degradació del primer cordó dunar no tant sols suposa una falta de vegetació, sinó que té efectes significatius sobre la preservació de la platja, així com per l'equilibri de la resta del sistema platja-duna.

Deixant de banda la foredune i entrant un passa més cap a l'interior del sistema es localitzen les dunes mòbils i semiestabilitzades. En el cas del sistema dunar de Sa Canova, és aquella unitat dintre del conjunt del sistema en el qual dites dunes tenen una major expansió, adquirint una gruixa de fins a 1 km terra endins en algunes de les zones del sistema. Aquests punts de màxima expansió coincideixen amb aquells en els quals les característiques topogràfiques del lloc tenen un efecte de canalització sobre el vent. La màxima extensió coincideix orogràficament amb el barranc de Na Borges; a partir d'aquí i cap a la vessant més oriental el sistema té una tendència a estrènyer-se, a excepció de la part central, en la qual a causa de l'existència d'un canal topogràfic també s'expandeix. La variació de l'extensió d'aquest subsistema, així com del relleu, es pot veure representada de manera esquemàtica al mapa de localització (Fig. 3).

Segons Servera (1997), en el cas de Sa Canova, el subsistema de dunes mòbils i semiestablitzades, ocupen una superfície aproximada de 110 ha, de les quals la majoria es van formar amb les dues darreres pulsacions eòliques de l'Holocè. Aquestes dunes presenten formes parabòliques simples i algunes més complexes; mantenint una direcció dels seus eixos centrals entre els 101º i els 258º, tot i que la direcció predominant (>52%) es dóna sobre els 202º. Precisament aquesta orientació posa en manifest que la seva formació es deu fonamentalment per l'efecte del vents efectius de component N-NE. Les dimensions d'uns 600 m^2 en planta que presenten aquestes morfologies de mitjana; a més la relació entra la longitud i amplària dels seus braços permet qualificar-les com dunes parabòliques de forma hemicíclica, tot i que també se'n poden identificar del tipus lobada.

Les formes individuals o simples mostren un perfil típic amb cares de stoss amb pendents suaus i cares de lee amb pendents d'equilibri molt marcats. Per tal de quantificar i interpretar de manera correcta la potència del present subsistema de dunes mòbils i semiestabilitzades cal tenir molt present la presència a sota de morfologies procedents d'episodis més antics. A partir d'aquesta consideració es pot confirmar que la potència d'aquestes oscil·len entre els 3 i els 5 m, però donant-se inclús valors per sobre dels 8 m a les parts amb més quantitat de material. Cal remarcar també que a nivell edafològic en els talussos dels camins presents, s'observa una total absència d'estratificació del sòl, de manera què es tracta d'un sòl jove des del punt de vista evolutiu. Però s'hi localitza una comunitat vegetal conformada per vegetació arbustiva de dimensions baixes, les espècies més destacables són: *Teucrium bellion, Helichrysum stoechas, Crucianella maritima*, l'endèmica *Ononis crispa* i *Scrophularia ramossisima*, etc.

Fins els moment els dos subsistemes explicats, foredune i dunes mòbils i semiestabilitzades, en el cas de Sa Canova ocuparien aproximadament una extensió de 84.000 m^2, en la qual es donen formacions de hummocks, nebkhas i de manera menys habitual *shadow* dunes. Una darrera peculiaritat d'aquest subsistema, es localitza prop de la desembocadura del torrent de Na Borges, en la qual s'aprecien unes formacions relictes de dunes

quaternàries, amb un aspecte un tant singular, en forma de barca capgirada, els quals són resultat de processos d'erosió eòlica, formant *yardangs*. Aquestes morfologies es corresponen als braços totalment litificats d'antigues dunes parabòliques, actualment desenterrades i erosionades. Una peculiaritat d'aquests yardangs a part de tenir restes de petjades fossilitzades de *Myotragus balearicus*, és el fet de no presentar erosió hidràulica, per la qual cosa han estat completament exhumats per acció eòlica.

Seguint el recorregut del sistema terra endins, finalment el darrer subsistema que es pot localitzar, és la franja de dunes estabilitzades. En el cas de Sa Canova aquest subsistema ocupa una extensió aproximada de 288 ha. En aquestes, les morfologies es superposen a sobre de cossos eòlics corresponents a episodis dunars pleistocènics. Respecte a les morfologies holocèniques que conformem aquest sector actualment, provenen de dues pulsacions eòliques diferents; però les quals mantenen relacions amb les pulsacions holocèniques dels subsistemes explicats anteriorment. Donant lloc a un espai en els quals els límits de cada cordó o subsistema és difícilment identificable.

Les dunes estabilitzades es distribueixen al voltant el sector més actiu, arribant a la part central d'aquest tenir una recorregut superior als 2 km terra endins des de la línia de costa. Les dunes tenen una extensió mitjana en planta superior als 800 m^2 i amb unes característiques, morfologia i orientació semblant al patró seguit en els sectors més mòbils. Tot i això les morfologies parabòliques compostes presents són majoritàriament del tipus digitades, anidades i superposades. En les dunes d'aquest sector, sí es pot identificar una estratificació del materials que les formen, de manera que es poden diferenciar de les dunes mòbils o semiestabilitzades, el subsistema anteriorment explicat.

Un altre tret diferenciador d'aquest sector més estabilitzat enfront del mòbil o semiestabilitzat, és el grau de fixació que tenen, relacionat amb la tipologia i la densitat de vegetació present. Tal i com exposen Lliteras i Vergoñós (2007) en aquest indret s'hi desenvolupen boscos de Pi blanc (*Pinus halepensis*) amb una altura d'entre 5-6 m (Fig. 7) , a més també s'hi troben associades tot un seguit d'espècies arbustives les quals conformen el sotabosc, entre aquestes cal destacar: el romaní (Rosmarinus officinalis), l'aladern de fulla estreta (*Phillyrea angustifolia*), el xiprell (*Erica multiflora*), les estepes (*Cistus salviifolius, C. albidus*), el socarrell (*Dorycnium pentaphyllum*), aritja (*Smilax aspera*) i mata (*Pistacia lentiscus*). Per tant aquesta vegetació suposa una disminució dràstica del dinamisme del sistema i per tant de la capacitat erosiva i de transport. De manera què en aquesta zona és habitual identificar morfologies que els seus braços laterals tenen una major alçària/ quantitat de sediment que no el seu propi lòbul central. Al mateix temps tant a la cara de sobrevent (*stoss*) com a la de sotavent (*lee*) la pendent de les morfologies és similar, com a conseqüència d'una sedimentació del tipus *grainfall sediment*, ja que el sediment que arriba ho fa en suspensió i aquest és capturat per la vegetació, fent que caigui a terra en forma similar a la pluja. Finalment, la darrera peculiaritat del sector de dunes estabilitzades de Sa Canova; és que al voltant de tota l'àrea es localitzen àmplies extensions formades per un mantell arenós sense formes dunars, rebent el nom de *sand sheets*.

A part de les espècies vegetals esmentades fins el moment en la explicació de cada un dels subsistemes de sa Canova, cal destacar també què es troben fins a un



Fig. 4. Sector de dunes estabilitzades del sistema dunar de Sa Canova, amb el seu característic pinar.

Fig. 4. *Sector of dunes stabilized in the dune system of Sa Canova, with its characteristic pine forest.*

total de 25 espècies vegetals esmentades al Catàleg Balear d'Espècies Vegetals Amenaçades. Aquestes espècies són: *Aceras anthropophorum, Anacamptis pyramidalis, Barlia robertina, Chamaerops humilis, Launaea cervicornis, Limodorum abortivum, Myrtus communis, Neotinea maculata, Ophrys apifera, Ophrys balearica, Ophrys bombyliflora, Ophrys dyris, Ophrys funerea, Ophrys lutea, Ophrys tenthredinifera, Ophrys vernixia, Orchis coriophora* subs. *fragans, Orchis italica, Pancratium maritimum, Rhamnus alaternus, Santolina chamaecyparissus, Serapias lingua* i *Tamarix canariensis*. Així com una espècie dins pel conveni CITES, *Cyclamen balearicum*. Lamentablement però també es poden observar un total de 5 espècies vegetals al·lòctones introduïdes per motius antròpics. Aquestes espècies són: *Carpobrotus edulis, Tretagonia, tetragonioides, Heliotropium curassavicum, Cuscuta campestris* i *Arundo donax*. Actualment aquestes espècies presenten diferents graus d'invasió; però dir què especialment *Carpobrotus edulis*, és una espècie amb un potencial de propagació molt elevat i que té un gran efecte negatiu sobre les altres espècies autòctones envaint el seu espai. Aquesta espècia es pot apreciar amb molta facilitat a la zona del sistema dunar pròxima al torrent de Na Borges.

Seguidament, tot i tenint clar el paper poc significatiu que tenen els animals sobre el dinamisme i/o la conservació del sistema de Sa Canova; s'han de destacar un total de 6 espècies d'aus que es troben protegides per la directiva d'aus de Xarxa Natura 2000, aquestes són: *Anthus campestris, Acrocephalus melanopogon, Sylvia balearica, Calandrella brachydactyla, Galerida theklae* i finalment *Burhinus oedicnemus*. Per altra banda, de la directiva d'hàbitats, és present i relativament abundant la tortuga Mediterrània *(Testudo hermanni)*.

Una vegada explicats cada un dels quatre subsistemes o sectors que composen el sistema dunar objecte d'estudi, així com la seva localització, el seu marc estructural genèric i específic, el seu marc climàtic i algunes característiques biòtiques. Cal fer una mica de menció sobre l'estat de conservació de l'espai, però des del punt de vista antròpic i les conseqüències que tenen les seves accions. En termes de sistemes dunars, aquestes accions poden suposar alteracions i/o interferències en els processos eòlics i morfològics del sistema. En el sistema dunar de Sa Canova segons Servera (1997), es poden localitzar diferents tipus d'activitats/accions impulsades per part de l'home. En primer lloc es poden localitzar activitats agràries; les quals han envaït zones de dunes estabilitzades, fent desaparèixer dites morfologies per tal de poder treure un profit agrícola del terreny. En segon lloc es pot apreciar el procés d'urbanització que es va projectar a la zona, tot i que el projecte finalment fos aturat. No obstant, actualment són presents importants infraestructures



Fig. 5. Itineraris delimitats per a transitar i que rompen el sistema dunar de Sa Canova.
Fig. 5. *Delimited itineraries to travel and break the Sa Canova dunes system.*

(vials, xarxes, aljubs, depuradora...) que suposen un impacte sobre la zona.

En tercer lloc, cal mencionar que es tracta d'un espai utilitzat amb finalitats d'oci, ja sigui pels residents autòctons com per turistes; les finalitats que impulsen a dites persones a freqüentar aquest espai són molt diverses (bellesa, esport, fotografia...), però suposen una degradació incontrolada per tot l'espai. Aquesta tercera i última activitat antròpica, és sens dubte la més agressiva i destructiva per Sa Canova; es tracta d'una acció continua, incontrolada que es dur fent durant dècades a intensitats diferents vinculades amb la estacionalitat turística. Actualment per pal·liar una mica els efectes d'aquest ús públic es troben delimitats tota una sèrie d'itineraris, però, tot i així es segueixen utilitzant altres camins fora dels establerts (Fig. 5).
A més en alguns indrets actualment aquesta delimitació es troba en un mal estat (Fig. 6). Per agreujar més la situació, la freqüentació del sistema dunar no tant sols es dur a terme caminant, sinó què és molt sovint observar-hi cavalls, bicicletes, motocicletes, quads, buggys, etc; incre-mentant inclús més la degradació i propiciant la compactació del sòl i en definitiva la fragmentació de l'espai i en darrera



Fig. 6. Itineraris amb una delimitació amb mal estat i un sòl que indica la freqüentació humana caminant i a cavall.
Fig. 6. *Itineraries with a demarcation in poor condition and a ground that indicates the human frequentation walking and horseback.*

instància tenint un efecte sobre la dinàmica i l'evolució del sistema en el seu conjunt.

Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball passa per veure el comportament d'un sistema amb un índex de naturalitat força important i a on la petjada urbano-turística no hi ha estat present. Així doncs, i en consonància amb els casos d'estudi citats anteriorment, l'objecte d'aquest treball passa també per veure les possibles diferències en tant a l'evolució d'un sistema natural vers als comportaments que s'han ja identificat en altres sistemes amb graus de pressió antròpica i urbanística molt superiors.

Aquest treball s'articula a partir dels següents objectius:

-Cartografiar i parametritzar el sistema dunar de Sa Canova, de manera que amb la realització d'aquesta tasca es genera nova informació la qual pot ser tractada i/o aplicada per a posteriors estudis i treballs.

-Analitzar quin ha estat el grau d'incidència sobre el sistema dunar del

projecte urbanístic que es va aprovar en aquesta àrea durant la dècada dels 70'.

-Identificar quina ha estat la dinàmica que ha experimentat el front dunar o foredune durant el període d'estudi; 1956-2012.

-Identificar la tendència que ha experimentat la línia de costa a partir de la seva anàlisi espacio-temporalIdentificar si la freqüentació de l'espai provoca un increment de la fragmentació a part de la del projecte urbanístic.

-Analitzar l'evolució de la cobertura vegetal herbàcia al llarg del front dunar.

-Comprovar si la vegetació i la seva localització/disposició segueixen algun patró morfomètric concret Comprendre quin factor ha estat més important en el procés d'evolució del sistema i pel qual actualment té les presents característiques i morfologies.

-Finalment, comprendre la dinàmica del sistema platja-duna de Sa Canova.

Metodologia

La metodologia utilitzada per al desenvolupament del treball que es presenta es pot dividir en dos apartats.

En primer lloc s'ha dut a terme un buidatge bibliogràfic per tal de forjar el marc teòric de la temàtica sobre la qual es desenvolupa el treball,. En aquest sentit la metodologia seguida ha estat la recerca i consulta de fonts bibliogràfiques En segon lloc, de mesurar sistemàticament les variacions en els canvis de la primer línia de costa, el foredune, el camins i la vegetació. Aquests canvis es manifesten sobretot a la primera línia de duna. Amb aquest escenari, limitar-se a analitzar aquests ambients en períodes curts de temps pot emmascarar la percepció de l'evolució a llarg termini. Així doncs, és fa necessari l'observació de períodes llargs -superiors a 10 anys-, per tal de realitzar un diagnòstic fiable sobre el comportament evolutiu de la línia de costa, de la primera línia de duna, o bé també, de l'evolució dels lòbuls de deposició (Fraile i Ojeda, 2007). Per tal de mesurar sistemàticament les variacions en els canvis de la primera línia de duna, així com de la línia de costa del sistema estudiat (Sa Canova) al llarg d'un període temporal suficientment extens, s'ha seguit una metodologia desenvolupada a partir de la utilització conjunta de cartografia a escala 1:6.500 amb fotografies aèries verticals, ja que constitueixen el document més utilitzat per el càlcul de les taxes d'erosió/acreció litoral (Ojeda, 2000; Vizcaino, 2001). Per a tal fi s'han pres com a referència la següent sèrie temporal de fotogrames corresponents als anys 1956, 1989, 2000, 2002, 2006, 2008, 2010 i 2012.

Sobre els mencionats fotogrames, s'ha dut a terme una digitalització en format vectorial (punts, línies i polígons) la base cartogràfica necessària per realitzar l'anàlisi. El procediment s'ha dut a terme amb el programari ARCGISTM, concretament amb la versió 10.1; a més aquesta reproducció parcial de la realitat ha d'estar georeferenciat en l'espai, per a tal fet s'ha optat per el sistema de coordenades projectades UTM ETRS 1989 31N. Una vegada traslladades totes les fotografies al mateix sistema de coordenades, s'ha seguit la metodologia de l'eina Digital Shoreline Analysis System (Thieler *et al.,* 2009), ha permès l'estudi comparatiu dels canvis en les diferents línies de costa i foredunes, permetent alhora establir-se les respectives comparacions des de la perspectiva temporal i espacial; com exemple del funcionament de l'eina durant el seu procés d'utilització, s'adjunta la imatge de continuació (Fig. 7). Una vegada digitalitzades les línies de costa i de la primera duna per a

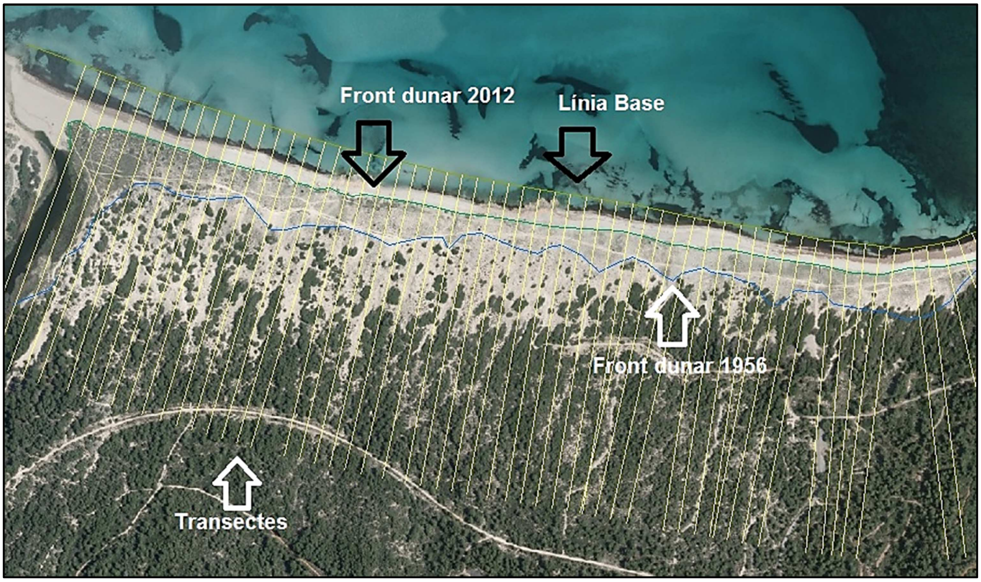


Fig. 7. Procés d'aplicació del DSAS per treure el valors de variació del front dunar i de la línia de costa.
Fig. 7. *Process of application of the DSAS to remove the values of variation of the dunar front and the coastline.*

cada un dels diferents vols, s'han seguit les següents passes:

1. A partir del SIG s'ha determinat la posició de la línia base en cada període per a tal d'establir comparacions entre els diferents moments temporals. Aquesta eina realitza de forma automàtica el càlcul dels metres acumulats i/o erosionats entre cada moment i per cada transsecte a partir d'una línia de referència paral·lela a la costa.

2. A partir d'aquesta línia de base s'estableixen uns transsectes perpendiculars a la mateixa (Fig. 7).

3. A partir dels resultats obtinguts, s'han fet els càlculs pertinents de:

-Relació erosió/acreció des del primer vol fins al darrer.

-Evolució superfície de platja/foredunes.

-Relació entre línia de costa i foredune.

-Evolució dels lòbuls de deposició.

-Les tendències observades.

Fins el moment només s'ha fet menció de la digitalització de la línia de costa i del front dunar; però el present TFG, també aborda la variable de camins i de vegetació. Per a la seva anàlisi també s'han digitalitzat, nous shapefiles corresponents a cada un dels períodes d'estudi abastats. A diferència però de la línia de costa i la foredune, el procés es desenvolupa de forma integra en el mencionat software i no s'utilitza el DSAS, però si el mateix sistema de coordenades (ETRS 1989 31N), per poder operar amb diferents tipus de capes. Una vegada obtinguts els shapefiles, els resultats que es poden extreure són:

Relació erosió/acreció des del primer vol fins al darrer.

Evolució de la superfície vegetada.

Fragmentació de l'espai.

Relació entre la presència de camins i la vegetació.

Evolució de la vegetació.

Evolució dels camins.

Les tendències observades.

Finalment, per a donar una major precisió als resultats, s'han utilitzat dos índexs de fragmentació per a cada un dels períodes d'estudi. En primer lloc, s'ha aplicat un del tipus més general expressat com:

IFs=P/LI,

on P, és el sumatori del perímetre de l'àrea vegetada de la zona d'estudi en un període concret i L, és el sumatori de les longituds dels camins existents en el mateix període.

Resultats

Evolució espacio-temporal de la línia de costa

La Fig. 8 mostra la situació de la línia de costa en els anys 1956 i 2012, el primer i el darrer dels anys analitzat. Com es pot apreciar, en termes generals la línia de costa ha sofert un retrocés generalitzat, tot i que amb algunes puntualitzacions. Els dos extrems del sistema són els que mostren de manera més pronunciada aquest procés, mentre que a la part central es percep una major estabilitat. De fet aquesta tendència es deixa veure més nítidament a la seqüència de les línies de costa de tots els anys analitzats (Fig. 9). En termes generals es veu com els dos extrems de la platja, l'occidental i l'oriental, presenten una major variabilitat espacial pel que fa a la posició marcada per la línia de costa en cada un dels anys de mostreig, mentre que la situació és lleugerament inversa a la part central, on es mostra una línia de costa més fixa i estable, sense tanta variació posicional. Sigui com vulgui, aquesta tendència s'incrementa en la situació de 1989 (línia vermella de la Fig. 9), on es veu una notable tendència erosiva als dos extrems, arribant a coincidir gairebé amb la situació de 2012, i un patró d'acreció sedimentària a la zona central de la platja.

Les xifres sobre la variació de la línia de costa, novament les proporciona el càlcul del EPR, aquest cop dut a terme mitjançant la realització de transsectes a una equidistància de 50 m. El comportament de retrocés de la línia de costa de la platja de sa Canova entre 1956-2012, tot i que ha estat generalitzat, no ha estat homogeni al llarg de la seva longitud, tal i com s'observa a la Fig 10. De nou queda palès que les majors intensitats erosives s'han produït en els dos extrems, amb una mitjana que s'acosta als -10 m, i amb valors màxims que es situen en els -35.5 m. En detriment d'aquesta tendència hi trobem, com ja s'ha esmentat, el comportament estable reflectit en el sector central de la platja, on es veuen punts on la variació de la línia de costa ha estat gairebé nul·la, o inclús zones amb una lleugera acreció sedimentària (i.e. els transsectes 30 i 31) de 0.03 metres anuals i de 0.04 metres anuals respectivament.

La mateixa tendència esmentada fins al moment és la que es reflecteix si s'analitzen les taxes de moviment anual (Fig. 11). En els extrems es registren pèrdues que oscil·len entre els 0.46 – 0.26 m/any, mentre que al sector central les pèrdues són molt inferiors, entre els 0.15 0.05 m/any, inclús s´hi confirma l'acumulació de 0.04 m/any a la part central, en concret en els punts dels transsectes 30 i 31. Donant així una taxa mitjana de retrocés de tota la línia de costa de 0.20 m/any.

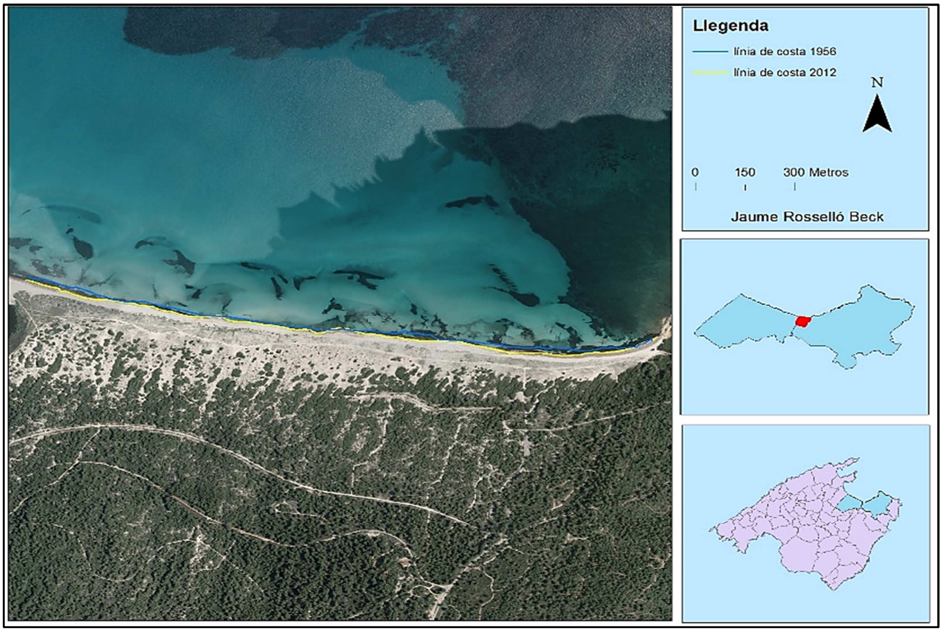


Fig. 8. Evolució de la línia de costa anys 1956 i 2012.
***Fig. 8.** Evolution of the coastline years 1956 and 2012.*

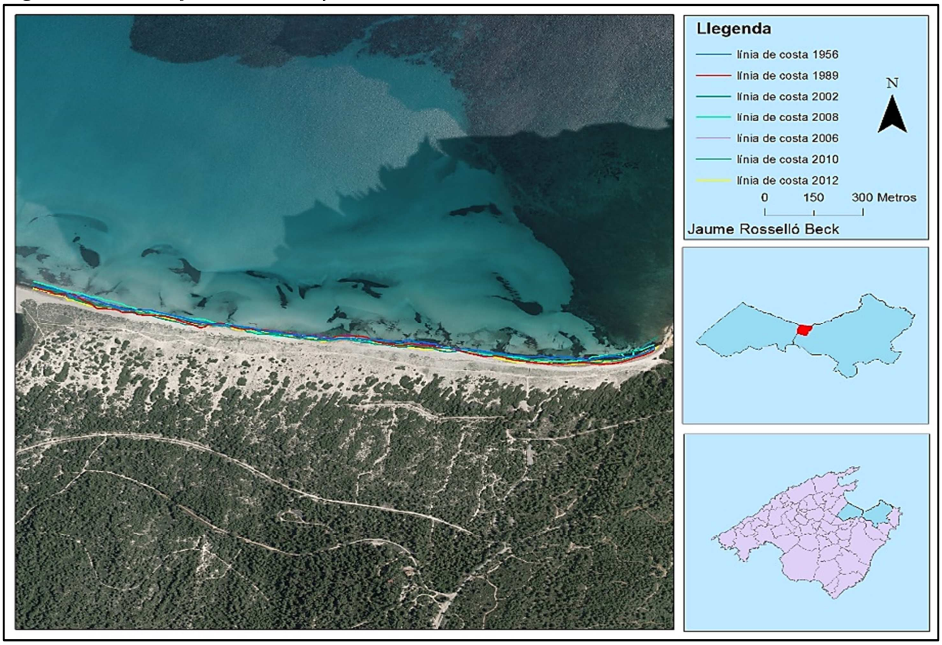


Fig. 9. Evolució de la línia de costa en els diferents períodes d'estudi.
***Fig. 9.** Evolution of the coastline in different periods of study.*



Fig. 10. Variació total de la línia de costa des del 1956 fins al 2012; realitzat amb el Digital Shoreline Analysis Sistem i el traç d'una línia base i els transsectes.

Fig. 10. *Total variation of the coastline from 1956 to 2012; performed with the Digital Shoreline Analysis System and the trace of a base line and transects.*



Fig. 11. Variació anual de la línia de costa, càlcul realitzat amb el Digital Shoreline Analysis Sistem, a partir de la creació d'una línia base Onshore i el traç dels transsectes.

Fig. 11. *Annual variation of the coast line, calculation made with the Digital Shoreline Analysis System, from the creation of an Onshore base line and the transept stroke.*

Evolució espacio-temporal del front dunar

En el present treball s'ha pogut observar i quantificar el desenvolupament i l'evolució del front dunar en el sistema platja-duna de Son Serra (Sa Canova) al llarg del període comprès entre 1956 i 2012. En una primera aproximació, tal i com reflexa la Fig. 12 (esquerra) s'ha experimentat un avanç significatiu i generalitzat de la primera línia de duna. Si es pren en consideració la situació mostrada per l'ortofotografia de 1956 es veu un sistema molt actiu des del punt de vista dinàmic i sedimentari.a. Tenint en compte sols els patrons d'avanç obtinguts de la digitalització del front dunar en cada un dels anys d'anàlisi (Fig. 12; dreta) es veu com l'avanç en tant a la formació i consolidació de la primera duna ha estat constant i sostingut al llarg del període estudiat.

Si bé el 1956 no s'hi pot apreciar d'una manera gens clara l'estructura d'una foredune ben articulada i desenvolupada, només apreciant-se petites formacions embrionàries colonitzades per vegetació herbàcia, el 1989 ja s'hi pot veure la presència d'un front dunar ben definit, sobretot al sector occidental del sistema, amb una foredune més o manco contínua. No obstant, pel que fa al sector més oriental, l'estructura és encara inestable i discontínua (Fig. 12). Tanmateix, segons les anàlisis realitzades, el 2002 es postula com el punt d'inflexió més important envers a la consolidació d'una primera línia de duna ben desenvolupada, ara ja sí, al llarg de tota la zona d'estudi. Tal i com mostra la Fig. 12 (dreta), la situació de 2002 ja dibuixa una primera línia contínua al llarg d'1.5 km de longitud, deixant enrere les diferències abans esmentades entre el sector occidental i oriental del sistema dunar. A partir d'aquest any es veu una consolidació definitiva i estable de la línia de foredune que s'estén fins la situació actual, el 2012.

En termes absoluts el procés que ha caracteritzat el comportament del front dunar de Sa Canova ha estat un avanç d'aquest de cap a la línia de costa. Tal i com reflecteix la Fig. 13, aquest ha estat notablement homogeni al llarg dels 1.5 km de costa analitzat. De les anàlisis dutes a terme a partir de l'aplicació del Digital Shoreline Analysis System, l'avanç mitjà

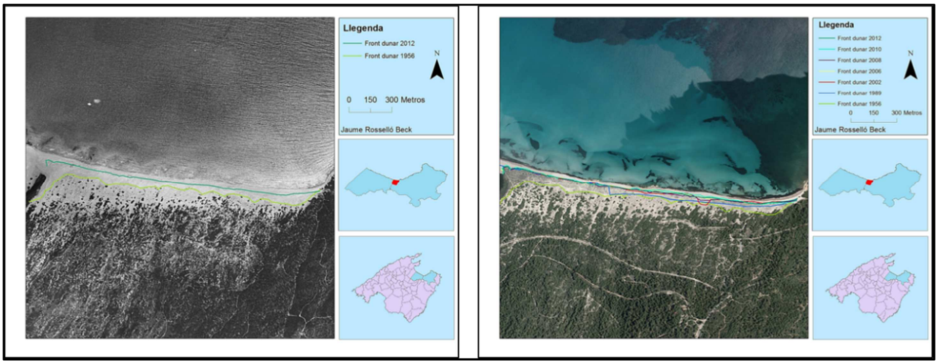


Fig. 12. Esquerra evolució del front dunar del 1956-2012; Dreta: variació del front dunar per períodes; amb base cartogràfica dels 1956 (esquerra) i 2012 (dreta).

Fig. 12. *Left evolution of the dunes front of 1956-2012; Right: variation of the dunar front by periods; with a cartographic base of 1956 (left) and 2012 (right).*

del front de dunes des de 1956 fins el 2012 ha estat de 67.5 m. En termes generals el sector occidental ha estat el que ha experimentat un major avanç, fixat amb una mitjana de 75.2 m, mentre que en el sector oriental aquest ha estat una mica més moderat, en aquest cas amb una mitjana de 50.5 m. El sector que major avanç ha experimentat en relació a la situació de 1956 és el que es troba limítrof amb la desembocadura del torrent de na Borges. Aquest sector, amb una longitud aproximada als 100 m, ha arribat a experimentar un avanç de 313 m (a la part més occidental), i un avanç mitjà de 202 m.



Fig. 13. Variació del front dunar 1956-2012; realitzat amb la extensió Digital Shoreline Analysis sistem (DSAS). La base cartogràfica es correspon a la fotografia de 2012.
***Fig. 13.**. Variation of the dune front 1956-2012; Performed with the Digital Shoreline Analysis system (DSAS) extension. The cartographic base corresponds to the 2012 photograph.*

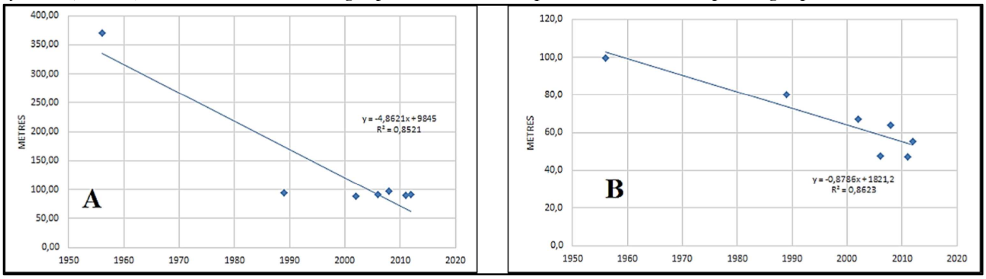


Fig. 14. línies de tendència dels transsectes 2 (A) i 31 (B).
***Fig. 14.**. Trend lines of transects 2 (A) and 31 (B).*



Fig. 15. Taxa d'avanç anual (m/any) del front dunar de Sa Canova durant el període 1956-2012 a partir del End Point Rate (EPR).
Fig. 15. *Annual advance rate (m / year) of the dune front of Sa Canova during the period 1956-2012 from the End Point Rate (EPR).*

La tendència quantitativa de l'avanç sofert pel front dunar de Sa Canova en el període 1956-2012 és la que es representa a la Fig. 14 realitzada a partir del transsecte 2 (situat a la part occidental del sistema) i el transsecte 31 (pertanyent al sector oriental). En ambdós casos es veu com el comportament ha estat caracteritzat per un avanç d'aquest, no obstant, la tendència ha estat molt més acusada en el sector oest, a on s'hi experimenta un avanç al voltant dels 250 m entre 1956 i 1989, i una notable estabilització entre 1989 i 2012. En el cas del sector oriental, representat per la Fig. 14B, tot i que la tendència ha estat semblant, aquesta no s'ha produït amb la mateixa intensitat. Així es veu que el màxim avanç de la primera línia de duna es dóna entre 1956 i 2002, amb un valor que es fixa al voltant dels 38 m. L'estabilització del front dunar en aquest cas arriba una mica més tard, precisament a partir del 2002, tot i que mostrant una major variabilitat envers a la posició del front de dunes fixada per cada any de mostreig, manifestant així una major inestabilitat que no pas en el sector occidental.

Si les anàlisis es centren en valorar les taxes de moviment del front dunar al llarg del període d'estudi es veu una correlació força positiva entre les zones de màxim avanç i aquelles que l'han experimentat amb una major intensitat. Tal i com reflecteix la Fig. 15, les màximes taxes d'avanç són les que s'han experimentat al llarg del sector occidental, amb uns valors mitjans que es situen entorn als 2 m/any, arribant a màxims de 5 m/any. Aquesta

realitat coincideix, i com quedava palès a la Fig. 14, amb el sector de major avanç en termes absoluts. Pel que fa al sector oriental la taxa d'avanç anual en el període analitzat ha estat més discreta, amb una tendència mitja de 0.6 m/any i amb valors màxims que no arriben als 1 m/any.

Evolució espacio-temporal dels camins

L'existència i la proliferació de camins al llarg del camp dunar, tot i no ser un fet exclusiu, és un tret important a l'hora d'analitzar el sistema de Sa Canova. Tal i com cartografia la Fig. 16 en la seqüència dels fotogrames analitzats durant el període d'estudi, la proliferació de camins ha estat un tret present al llarg de les darreres dècades a la zona d'estudi. Prenent com a referència inicial el 1956 ja es veu l'existència de sendes o camins, principalment destinats al pas interior per la propietat privada, i amb una còmput total de 4.459 m longitudinals. No obstant, i com bé queda reflectit per la Fig. 16B en termes absoluts la proliferació de camins no ha deixat de créixer des de 1956 ençà. La Taula 1 mostra els valors i el creixement dels metres longitudinals dels camins al llarg de l'interior del sistema dunar, mostrant com des de 1956 no deixen d'augmentar fins arribar al seu punt màxim, el 2008 amb un total de 18.807 m, per a després entrar en un període de segellament i desaparició, expressat per valors inferiors el 2010 (18.480 m) i el 2012 (17.220 m).

No obstant la tendència general ha estat marcada per la proliferació i sorgiment de nous camins durant el període estudiat, aquesta no ha estat sostinguda en el temps, sinó que ha sofert distintes pulsacions d'intensitat. Fixant-se en la Figura 16B i la Taula 1 queda palès que el moment de màxima proliferació es produeix entre el 1956 i el 1989, amb un creixement absolut de 6.791 m i un creixement percentual lleugerament superior al 152%. Després d'aquest primera pulsació s'identifica un primer període d'estabilització comprès entre 1989 i 2006, amb un increment acumulat de 1.906 m, i un increment percentual amb xifres que oscil·len entre el 5 i l'11%. Entre 2006 i 2008, amb sols dos anys, es produeix de nou un increment relativament important en tant a la proliferació de camins, en aquest cas expressat en 5.651 m longitudinals els quals suposen un increment relatiu del 42.96%. La darrera fase que queda reflectida a la Fig. 16B és la compresa entre 2008 i 2012, per primer cop marcant una tendència de retrocés expressada per una reducció en tant als metres longitudinals de camins; -1.587 m i una reducció relativa del -6.27%.

Evolució espacio-temporal de la vegetació

Tot i que l'àrea total del sistema dunar s'aproxima als 2.3 km^2, per a l'estudi de la variació en la cobertura vegetal al llarg del període estudiat s'ha determinat un buffer que es centra en validar aquest comportament al llarg del front dunar, degut a que la vegetació arbustiva i arbòria del camp de dunes consolidades no ha sofert variacions espacials significatives, tal i com mostra la seqüència de fotogrames de la Fig. 17. Així doncs, l'anàlisi de la cobertura vegetal s'ha centrat en analitzar la vegetació de característiques herbàcies i arbustives de la part més activa del sistema, tractant finalment una superfície de 0.76 km^2 (veure extensió del buffer als fotogrames de la Fig. 17A).

En termes generals, la cobertura vegetal del front de dunes del sistema de Sa Canova té una tendència expansiva, ja que durant el període analitzat ha incrementat la seva extensió en 133.564 m^2. L'evolució soferta en cada un dels períodes es pot apreciar a la Taula 1.

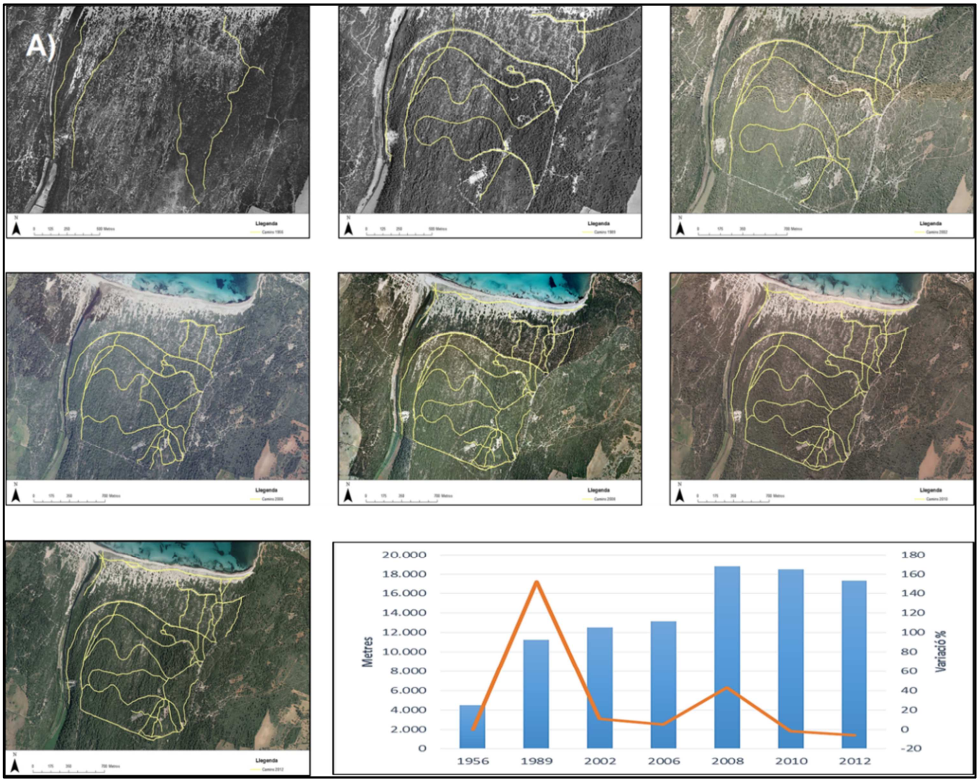


Fig. 16. A: Evolució de la longitud dels camins dintre del sistema dunar; B: gràfic de l'evolució de la longitud dels camins, expressat en nombres absoluts i en nombres percentuals.
Fig. 16. *A: Evolution of the length of the paths within the dune system; B: graph of the evolution of the length of the paths, expressed in absolute numbers and in percentage numbers.*

Tal i com visualitzar la Fig. 17B, el creixement de la superfície vegetada en el sector més dinàmic del sistema és constant i sostingut en el temps, havent incrementat un total del 26.46% (133.564 m^2) en un període de 56 anys, fent-ho per tant a un ritme del 0.47% anual. Tant sols existeix un període en el qual es dóna un decreixement de la vegetació, el del 2006-2008, en el qual aquesta disminueix un 4,26%, que en valors absoluts suposa una pèrdua de 23.602 m^2 de la coberta vegetal respecte el període anterior. Però a partir d'aquest moment la vegetació del sistema torna tenir una tendència expansiva, inclús donant-se el màxim en el darrer període d'estudi, augmentant un 8,64% (47.363 m^2) entre el 2010 i el 2012.

Des d'un punt de vista espacial, i centrant la anàlisi en la seqüència de fotogrames que articula la Fig. 20 , la situació que mostrava la zona d'estudi el 1956 reflecteix un alt dinamisme del sistema, amb una cobertura vegetal herbàcia-arbustiva molt escassa al llarg del seu front, i amb una quantitat d'arena lliure molt considerable. No obstant aquesta tendència comença a invertir-se un cop

Any	Superfície (m^2)	Variació (%)
1956	462.058	0
1989	495.183	7,17
2002	525.142	6,05
2006	554.686	5,63
2008	531.084	-4,26
2010	548.259	3,23
2012	595.622	8,64

Taula. 1. Superfície vegetada de la l'àrea més activa del sistema dunar de Sa Canova. S'expressa la superfície en termes absoluts per cada any analitzat i el seu increment percentual durant la seqüència analitzada.
Table 1. *Vegetal surface of the most active area of the Sa Canova dunes system. The surface is expressed in absolute terms for each year analyzed and its percentage increase during the analyzed sequence.*

s'arriba al segon moment, ja que el 2002 es comença a percebre un increment de les taques de colonització vegetal, en especial en el sector occidental a on, límit amb la desembocadura del torrent de na Borges es comença a formar una línia de foredune ben desenvolupada amb orientació O-E, paral·lela a la línia de costa, i que no deixarà de créixer d'aquest moment en endavant. És per tant el 2002 el punt d'inflexió a partir del qual l'expansió i colonització de la vegetació herbàcia i arbustiva es comença a fer més visible, amb un increment constant de la seva cobertura, sols interromput en el període, ja esmentat, comprès entre 2006 i 2008. És important remarcar com el nombre de polígons de vegetació no deixa d'incrementar al llarg del temps, fet que suposa una reducció de l'arena lliure disponible en tant a la dinàmica sedimentària i eòlica del sistema i, en conseqüència, una fixació i estabilització el sistema en la seva part més davantera. Arribats al darrer any analitzat, el 2012, destacar la influència i el paper que la foredune, ara ja sí, ben desenvolupada des del sector occidental cap a la part central del sistema ha tingut envers el comportament de la vegetació sistema endins. L'anàlisi espacial resultant del fotograma de 2012 mostra doncs un increment notable (i diferencial envers a la resta del sector analitzat) de la vegetació a la franja posterior de la foredune, determinant doncs el paper de "ombra" que aquesta ha jugat, disminuint la incidència energètica del vent, el transport sedimentari derivat, i en conseqüència, facilitant les condicions per una proliferació i estabilització de la vegetació.

Índex de fragmentació

Els resultats del càlculs d'ambdós indexs, per a cada un dels períodes d'estudi es troben exposats a les taules a continuació (Taules 1 i 2).

A partir dels resultats i tal com apareix a la Fig. 18, sembla que no existeix relació evident entre l'increment de la longitud dels camins i la disminució de la superfície vegetada. Això probablement es atribuïble a les característiques i dimensions reduïdes dels camins, de manera què no tenen la capacitat d'alterar de manera significativa la coberta vegetal del sistema dunar en el seu conjunt. També es pot veure que la tendència general és d'una certa estabilització de la superfície vegetada i un increment de la longitud dels camins (Fig. 18). Cal destacar dos períodes en els quals aquest increment longitudinal de camins ha estat més accentuat, entre el 1956-1989 en el qual s'incrementà en un 152.3% i en segon lloc entre 2006-2008, en el qual l'increment fou de quasi el 43% (Taula 2). Finalment, aquest fet també es veu reflectit en l'estabilitat dels indexs a partir del període 1989, les variacions són mínimes.

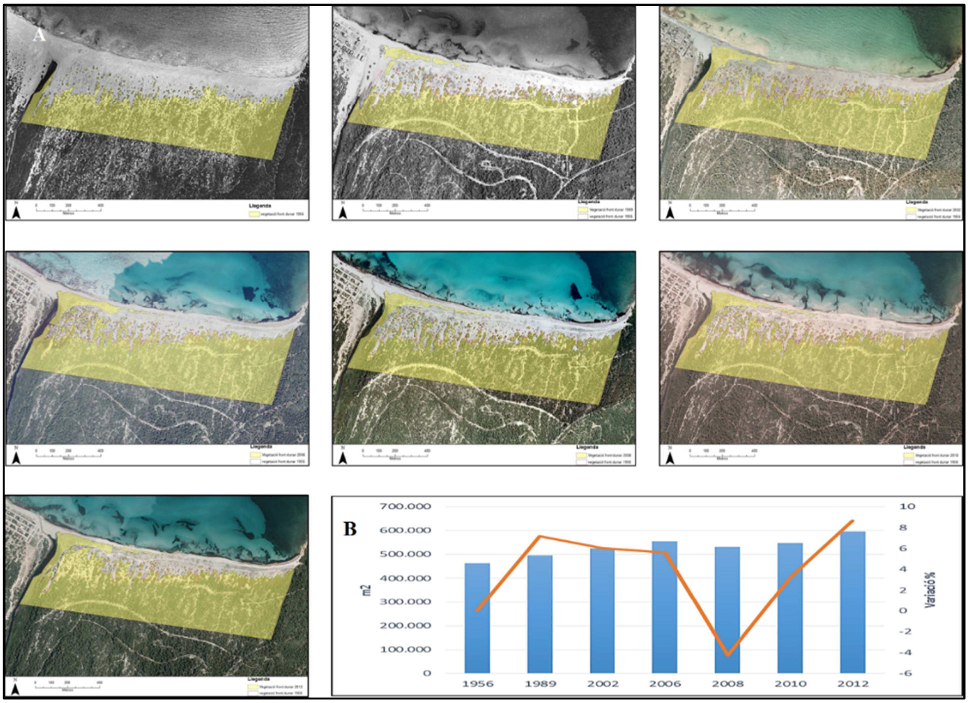


Fig. 17. A) Evolució de la vegetació del sector més dinàmic del sistema platja-duna en el període 1956-2012, B) Gràfic de l'evolució de la superfície vegetada del sector actiu del sistema dunar, expressat en valors absoluts i valors percentuals.
Fig. 17. *A) Evolution of the vegetation of the most dynamic sector of the beach-dune system in the period 1956-2012, B) Graph of the evolution of the vegetation surface of the active sector of the dune system, expressed in absolute values and percentage values.*

Any	Perímetre àrea vegetada (m2)	Longitud camins (m)	Índex
1956	14.392	4.459,06	0,32
1989	15.981	11.250,45	0,14
2002	18.432	12.494,95	0,15
2006	18.130	13.156,01	0,14
2008	19.304	18.807,77	0,10
2010	19.332	18.480,36	0,10
2012	19.178	17.320,87	0,11

Taula 2. Índex de fragmentació Standard, aplicat a l'àrea d'estudi completa.
Table 2. *Standard fragmentation index, applied to the entire study area.*

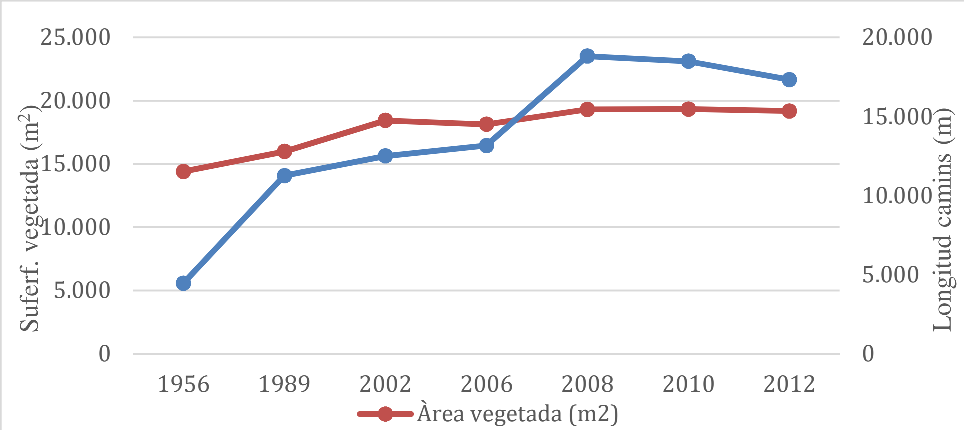


Fig. 18. Relació entre superfície vegetada i longitud dels camins per períodes d'estudi.
Fig. 18. *Relationship between vegetation and length of roads for periods of study.*

Discussió

Al conjunt de les Illes Balears es localitzen una gran quantitat de sistemes platja-duna, cada un d'aquests es troba descrit a Servera (1997) i posteriorment també classificat per Roig-Munar (2011). Aquestes dues tesis, són sens dubte un clar referent a seguir per tot estudi en matèria de dinàmica de sistemes litorals a les Balears; dir però que no són les úniques obres existents. En les darreres dècades els estudis i la investigació realitzada dintre d'aquest àmbit s'ha intensificat molt; tenint com a resultat moltes més publicacions científiques; en els darrers anys especialment cal destacar la tesi doctoral de Mir-Gual (2014). En aquesta es dóna un enfocament nou, ja que es centra més en la dinàmica erosiva de diversos sistemes de Menorca i de Mallorca a partir de les morfologies blowout. A partir d'aquesta investigació i recerca molt més específica, en la qual es van obtenir una gran quantitat de dades de diferents variables (vent, erosió, transport...), s'obre una metodologia per tractar científicament aquests ambients litorals.

Tot i les noves tècniques, les metodologies i la instrumentació disponibles avui dia, segueix sent una tasca summament complexa l'anàlisi de tot element litoral, a causa del seu gran dinamisme natural i la seva elevada fragilitat des del punt de vista ecosistèmic. Per la qual cosa es va plantejar el present treball de final de grau (TFG), per tal de aportar un petit gra d'arena dintre d'aquest àmbit d'estudi.

Malauradament, actualment l'estat de conservació de la immensa majoria dels sistemes dunars presents a les Illes Balears, no es troba en condicions òptimes, ja que presenten una certa problemàtica de conservació. De manera que en termes generals es presenta un procés de retrocés/degradació de la primera línia de duna o foredune; confirmant així la importància de la vegetació a dita zona, així com en el conjunt del sistema (Mir-Gual i Pons, 2011; Mir-Gual *et al.*, 2013). En segon lloc, a part de la degradació del front dunar, també s'observa un retrocés generalitzat de la línia de costa de cada un dels sistemes estudiats.

La tendència general a les Illes Balears és la de la degradació del front dunar i el retrocés de la línia de costa. Ambdós processos actualment es troben afavorits i/o potenciats per dues raons molt clares; en primer lloc la intensa activitat turística que ha experimentat la comunitat autònoma des de mitjans de la dècada dels 50' i en segon lloc, però també relacionada amb la primera causa, és el procés d'urbanització esdevingut principalment a les àrees properes a la costa, amb totes les conseqüències ambientals i paisatgístiques que aquest procés ha suposat en el medi. En el cas de l'activitat turística, com a motor econòmic de la comunitat autònoma, a partir del primer boom turístic (Rullan, 1999), ha tingut pràcticament "carta blanca" per al seu desenvolupament incontrolat, a partir d'una normativa en matèria d'urbanisme i turisme inicialment molt laxa; relegant així els aspectes ambientals a un paper secundari, prevalent així les qüestions econòmiques sobre la resta (Murray, 2005). Convertint així àrees costaneres, en indrets de creixement exponencial d'una indústria basada en els serveis i l'oci; la qual també requereix de tota una infraestructura per al seu desenvolupament (Blàzquez-Salom, 1998). Encadenant precisament amb aquesta necessitat d'infraestructura, comença paral·lelament un intens procés d'urbanització proper a les zones costaneres per poder avortar els requeriments de places turístiques requerides per donar cabuda a tal massa turística interessada en les illes com a indret on passar les seves vacacions.

En el cas del sistema dunar de Sa Canova, no es troba al marge dels dos processos mencionats. Però tot i així cal dir, que en aquest cas concret el fet turístic afecta en menor mesura, que altres localitzacions de les illes, degut a la inexistència d'una gran infraestructura hotelera en les immediacions directes del sistema dunar. En el nucli urbà de Son Serra de Marina, no existeix cap hotel i en l'altre extrem, la urbanització de s'Estanyol, tant sols consta un petit hotel. Tot i que no existeixi una gran infraestructura immediata al propi lloc d'estudi, no vol dir que el sistema no rebi influència per part del turisme, simplement no s'ha produït una destrucció directe de l'espai per a la construcció d'un hotel, etc.

Tot i la inexistència actual d'aquesta infraestructura, la intensió en el passat si hi va ser; en aquest emplaçament es va projectar un gran projecte d'urbanització. Dintre d'aquest context, ja mencionat, de desenvolupament econòmic la finca de Sa Canova, en el 1970 va ser declarada en el pla provincial com "zona de especial interés turístico nacional", atorgada pel ministeri de l'interior i de turisme. Com a conseqüència d'aquesta declaració, les empreses Ravenna i la seva filial Bahia Nova S.A. compraren la part de la costa de la finca propietat del marquès de Bellpuig, la qual passà anomenar-se Ravenna (polígon 1 parcel·la 4). En el 1972, durant el "Desarrollismo" de l'etapa final de la dictadura del general Franco, s'aprovaren els Plans Parcials per la finca de Ravenna; en els quals es preveia la construcció d'un camp de golf, dos ports esportius, un hotel del grans alçada en primera línia de costa, una clínica i finalment la creació de 35.000 habitatges en una superfície de 1.021 ha. Amb l'aprovació de dits Plans Parcials l'empresa Bahia Nova S.A., inicià el procés de construcció, fins que el Sr. Brante desapareix amb el capital públic i part del privat, d'aquells que ja havien comprat una parcel·la. A més l'empresa Bahia Nova S.A., es declara en suspensió de pagaments; de manera que el projecte queda aturat. Aquesta pausa, romandrà així per sempre a causa de les intencions/ideologies oposades

per part del consistori municipal d'Artà, el qual aprovà posteriorment normatives que impediren la viabilitat del projecte. El resultat de tot aquest procés urbanístic i posterior estafa per part del promotor immobiliari, és la presència actual d'allò que en el seu moment havien de ser els carrers; aquests es poden apreciar a la seqüència de mapes de camins a partir del mapa del 1989 (Fig. 17A).

La combinació de les condicions físiques, mencionades en l'apartat introductori i de caracterització del sistema, així com les peculiaritats turístiques i urbanístiques mencionades; donen lloc a un sistema dunar que no segueix del tot la tendència general observada en la majoria dels sistemes de les Illes Balears. En el cas de Sa Canova; el front dunar ha sofert un avanç generalitzat molt evident, cal destacar però el desenvolupament esdevingut en el sector pròxim al torrent de Na Borges, en el qual aquest desenvolupament és molt més intens. En segon lloc la línia de costa sí ha sofert un cert basculament, així com un petit avanç en el sector central del sistema dunar (transsectes 30 i 31, Fig.14). Tot i això si es pot identificar una degradació a la part interna del sistema, derivada del ja esmentat projecte d'urbanització que es va projectar en aquesta zona, el qual ha suposat una fragmentació de l'espai.

Conclusions

Sa Canova d'Artà, és un dels pocs sistemes platja-duna existents a les Illes Balears que esta sofrint un procés de creixement de la primera línia de dunes, amb un increment de la presència de vegetació en aquest sector. Per la qual cosa augmenta la capacitat de retenció de sediment del sistema i disminueix la capacitat erosiva per part dels agents (vent, aigua, mar...).

El desenvolupament d'aquesta foredune, tindrà conseqüències directes sobre el sistema en el seu conjunt, ja que l'estat d'aquest sector tindrà repercussions directes sobre la resta del sistema. De manera què el seu bon estat, inclús expansió pot suposar a més llarg termini una estabilització del sistema de Sa Canova, amb la seva consegüent disminució del dinamisme i taxa sedimentària. Aquesta previsió però és compromesa i delicada a causa de les condicions intrínseques d'aquesta tipologia de sistemes litorals, de la fragilitat i del seu dinamisme. Però, en el cas de seguir la tendència i les condicions actuals, tot els indicis apunten en aquesta direcció, l'estabilitazació del sistema.

Agraïments

Aquest article forma part del projecte d'investigació: *"Crisis y reestructuración de los espacios turísticos del litoral español"* (CS02015-64468-P) del Ministeri d'Economia i Competitivitat (MINECO) i del Fons Europeu de Desenvolupament Regional (FEDER).

Bibliografia

Balaguer, P. 2007. Inventari quantitatiu de les costes rocoses a Mallorca. *In:* Pons, G.X. i Vicens, D. (Edits.). Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Palma de Mallorca, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 14: 201-230.

Bird, E. C. F. 2008. *Coastal Geomorphology. An introduction*. Chichester (England). Wiley.

Blàzquez-Salom, M. 1998. Els usos recreatius i turístics dels espais naturals protegits. L'abast del lleure al medi natural de

Mallorca. *Investigaciones Geográficas,* 19: 105-126.

Davis, J.R. i Fitzerald R.D.M. 2004. *Beaches and Coasts.* Carlton (Australia). Blackwell Publishing.

Fornós, J.J., Ginés, J. i Gómez-Pujol, L. 2007. *Geomorfología Litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca.* Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15. Palma de Mallorca. 220 pp.

Fraile, P. i Ojeda, J. 2007. La evolución de la línea de costa de la fachada atlántica andaluza entre 1956 y 2004. *In:* Gómez-Pujol, L. i Fornós, J.J. (Edits.). Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral. Palma, UIB-IMEDEA-SHNB-SEG: 55-60.

Fuster, J. 1973. *Estudio de las reservas hidráulicas totales de Baleares. Informe de síntesi general.* España, Ministerio de Obras Públicas, Indústria i Agricultura.

Garau, M. 2015. Anàlisi de la variació espacio-temporal de la foredune i la línia de costa del sistema dunar de Cala Torta (1956-2012). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58: 179-192.

Gelabert, B. 1997. *La estructura geológica de la mitad occidental de la Isla de Mallorca.* Barcelona, Inst. Geominero de España.

Gelabert, B., Sabat, F. 2004. Mallorca y Cabrera: unidades geológicas i estructura. Geología de España. Vera, J.A. (Edit.). Madrid, Sociedad Geológica de España: 450-452.

Gómez-Pujol, L. i Pons, G.X. 2007. La geomorfología litoral de Mallorca cuarenta y cinco años después. *In:* Fornós, J.J., Ginés, J., Gómez-Pujol, L. (Edits.). Geomorfologia Litoral: Migjorn i Llevant de Mallorca. Palma de Mallorca, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15: 17-37.

Hernández-Calvento, L. 2002. *Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Isla de Canarias (1960-2000).* Tesis doctoral. Departamento de Geografía. Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria: 386.

Lliteras, M. i Vergoñós, L. 2007. Projecte de gestió de Sa Canova i Es Canons [en línia].[Consulta: 15 abril 2016]. Disponible en: http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/73/0MEM%C3%92RIA.pdf?sequence=7.

Martín-Prieto, J.A., Roig-Munar, F.X. i Rodríguez-Perea, A. 2007. Análisis espaciotemporal (1956-2005) de la foredune de Mesquida (N Mallorca) mediante el uso de variables geoambientales y antrópicas. *In:* Gómez-Pujol, L. i Fornós, J.J. (Edits.). Investigaciones Recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral. Palma de Mallorca, SHNB, UIB, IMEDEA, SEG: 137-140.

Martín-Prieto, R.-M., F.X., Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X. 2010. Evolució de la línia de costa de la platja des Trenc. *In:* Mayol, J., Muntaner, Ll. i Rullan, O. (Edits.). Homenatge a Bartomeu Barceló i Pons, geògraf. Palma, Lleonard Muntaner, Editor: 423-440.

Mir-Gual, M. 2009. Modificaciones del perfil de playas en las Islas Baleares (Playas de Can Picafort y Es Comú de Muro). *Investigaciones Geográficas*, 50: 191-207.

Mir-Gual, M. 2014. *Anàlisi, caracterització i dinàmica de les formes erosives blowout en sistemes dunars de Mallorca i Menorca (Illes Balears).* Tesi doctoral. Departament de ciències de la terra, Universitat de les Illes Balears. Campanet: 423.

Mir-Gual, M., Martín-Prieto, J.A. i Pons, G.X. 2015. Evolució geomorfològica del sistema dunar de s'Olla (Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58: 159-177.

Mir-Gual, M. i Pons, G.X. 2011. Coast sandy strip fragmentation of a protected zone in the N of Mallorca (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research,* SI64 (1): 1367- 1371.

Mir-Gual, M. i Pons, G.X. 2016. The presence of foredune strip as key factor for the integral beach-dune system conservation. *Journal of Coastal Research,* SI75: 313-317.

Mir-Gual, M., Pons, G.X., Gelabert, B., Martín-Prieto, J.A. i Rodríguez-Perea, A. 2014. Conservation approach of a front dune system through the study of its blowouts (Cala Agulla, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 57: 79-103.

Mir-Gual, M., Pons, G.X., Martín-Prieto, J.A., Roig-Munar, F.X. i Rodríguez-Perea, A. 2013. Geomorphological and ecological

features of blowouts in a western Mediterranean coastal dune complex: a case study of the Es Comú de Muro beach-dune system on the island of Mallorca, Spain. *Geo-Marine Letters,* 33: 129-141.

Murray, I. 2005. Huellas en la playa de s'Arenal. La huella del impacto humano sobre la T(t)ierra y en las Islas Baleares. *In:* Cabero-Diéguez, V. i Espinoza-Guerra, L.E. (Edits.). Sociedad y medio ambiente: ponencias presentadas en las segundas jornades. Sociedad y medio ambiente. Salamanca, Universidad de Salamanca: 197-250.

Nordstrom, K. F. 2000. *Beaches and dunes of developed coasts*. Cambridge, Cambridge University Press.

Ojeda, J. 2000. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la A.G.E.,* 30: 103-118.

Pethick, J. 2001. *An introduction to Coastal Geomorphology*. United States, Edward Arnold Publishers.

Rodríguez-Perea, A. i Gelabert, B. 1998. Geologia de Mallorca. *In:* Fornós. J. (Edit.). Aspectes Geològics de les Balears.. Palma de Mallorca, UIB: 11-38.

Roig-Munar, F. X. 2010. *Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca: 413.

Roig-Munar, F. X. i Comas Lamarca, E. 2005. Propuestas de un modelo de clasificación para las playas de las Islas Baleares mediante el anàlisis de variables de uso, estado y gestión. *Boletín de la A.G.E.,* 40: 429-448.

Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A. i Pons, G.X. 2009. Soft management of beach-dune systems as a tool for their sustainability. *Journal of Coastal Research* SI56: 1284-1288.

Rullan, O. 1999. Crecimiento y política territorial en las Islas Baleares (1955-2000). *Estudios Geográficos* 60 (236): 403-442.

Sàbat, F. i Rodríguez-Perea, A. 1989. *The Geology of Mallorca: a field trip*. Barcelona.

Servera, J. 1997. *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. Palma: 904.

Servera, J. 2004. *Geomorfologia del Litoral de les Illes Balears*. Palma de Mallorca, Edicions Documenta Balear.

Servera, J., Rodríguez-Perea, A. i Martín-Prieto, J.A. 2007. Los sistemas playa – duna en las Baleares. *In:* Fornós, J. J., Ginés, J. i Gómez-Pujol, L. (Edits.). Geomorfología Litoral: Migjorn i Llevant de Mallorca. Palma, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15: 61-74.

Thieler, E. R., Himelstoss, E.A., Zichichi, J.L. i Ergul, A. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0. An ArcGIS extension for calculating shoreline change, U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

Vizcaino, A. 2001. *Erosión costera en Almeria (1957-1995).* Almería, Instituto de estudios almerienses.